



TUGAS AKHIR - SF 141501

**INVERSI ANOMALI SELF-POTENTIAL UNTUK
INCLINED SHEET 2D MENGGUNAKAN
*ALGORITMA FLOWER POLINATION***

**Artika Wijayanti
NRP 1113 100 028**

**Dosen Pembimbing
Dr. Sungkono, M.Si**

**Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



TUGAS AKHIR – SF141501

**INVERSI ANOMALI SELF-POTENTIAL UNTUK
INCLINED SHEET 2D MENGGUNAKAN
ALGORITMA *FLOWER POLLINATION***

**Artika Wijayanti
NRP 1113 100 028**

**Dosen Pembimbing
Dr.Sungkono, M.Si**

**Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - SF141501

**INVERSION OF SELF-POTENTIAL
ANOMALIES BY 2D INCLINED SHEETS
USING FLOWER POLLINATION
ALGORITHM**

**Artika Wijayanti
NRP 1113 100 028**

**Advisor
Dr.Sungkono, M.Si**

**Departement of Physics
Faculty of Mathematics and Science
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

**INVERSI ANOMALI SELF-POTENTIAL UNTUK
INCLINED SHEET 2D MENGGUNAKAN ALGORITMA
FLOWER POLLINATION**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains pada
Bidang Studi Fisika Bumi
Program Studi S-1 Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Artika Wijayanti
1113 100 028

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr.Sungkono, M.Si



INVERSI ANOMALI SELF-POTENTIAL UNTUK *INCLINED SHEET* 2D MENGGUNAKAN ALGORITMA *FLOWER POLLINATION*

Nama : Artika Wijayanti
NRP : 1113 100 028
Departemen : Fisika, FMIPA-ITS
Pembimbing : Dr. Sungkono, M.Si

Abstrak

Interpretasi data self-potential (SP) dapat dilakukan melalui inversi melalui proses pencocokkan data pengukuran dengan data model yang dilakukan secara otomatis. Dengan demikian, diperlukan suatu metode untuk proses tersebut. Penelitian ini, untuk mengetahui kemampuan *flower pollination* algorithm (FPA) dalam mengestimasi parameter model beserta ketidakpastiannya dari anomali SP dengan asumsi model *inclined sheet* 2D. Algoritma ini telah di tes pada data sintetis (tanpa dan ditambah noise) dan data lapangan (yang sudah dianalisis dan belum dianalisis). Hasilnya ialah pada data sintetis, FPA akurat untuk proses inversi data SP (model *inclined sheet*) dan mampu menyediakan PDM dengan cepat sedangkan untuk data lapangan hasil inversinya mirip dengan hasil inversi menggunakan metode metode sebelumnya serta hasilnya juga sesuai dengan kondisi geologi setempat.

Kata kunci : *FPA, inclined sheet, parameter model, posterior distribution model, self potential.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

INVERSION OF SELF-POTENTIAL ANOMALIES BY 2D INCLINED SHEETS USING FLOWER POLLINATION ALGORITHM

Name : Artika Wijayanti
NRP : 1113 100 028
Department : Physics, FMIPA-ITS
Advisor : Dr. Sungkono

Abstract

Interpretation of self-potential (SP) data can be done by inversion through automatically matching measurement data and model data. Thus, it requires a method to complete that process. The objective of this research is to identify flower pollination algorithm ability in estimating parameter model and its uncertainty of SP anomaly with inclined sheet 2D assumption. This algorithm has been tested to synthetic (with and without noise) and field data (pre and post analyzed). The result is in synthetic data, FPA is accurate for SP data inversion process (inclined sheet model) and able to provide PDM quickly while for field data inversinya results similar to inversion result using method of previous method and it was also suitable with the local geological condition.

Key word : *FPA, inclined sheet, parameter model, posterior distribution model, self potential .*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang selalu memberikan petunjuk, kemudahan serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sebagai syarat wajib untuk memperoleh gelar sarjana jurusan Fisika FMIPA ITS dengan judul Inversi Anomali Self Potential untuk Inclined Sheet 2D Menggunakan Algoritma Flower Pollination (FPA).

Penulis menyadari dengan terselesaikannya penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Sungkono M.Si selaku dosen pembimbing yang luar biasa membimbing penulis, terima kasih atas ilmu yang diberikan, saran-saran dan kesabarannya dalam membimbing.
2. Prof.Dr. Bagus Jaya Santosa dan Yanurita Dwi Hapsari M.Sc selaku dosen penguji pada presentasi tugas akhir penulis.
3. Bapak Dr. Yono Hadi P., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA ITS.
4. Seluruh staf pengajar di Jurusan Fisika ITS.
5. Orang tua saya yaitu Ibu Senik dan ALM Doto, kakak saya Moch. Kanafi, Dwi Sukartiani dan adik Syalfian saya yang selalu memberikan dukungan moral dan spiritual sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
6. Sahabat tercinta saya “Atas Nama Cinta” Fertilita Enggar W.M (KUTIL) yang sabar, menemani seperti bayangan, selalu direpotkan oleh penulis dan selalu memberi nasehat serta Nurul Azizah yang selalu sabar menghadapi tingkah laku penulis yang aneh.
7. Teman-teman seperjuangan bidang minat Fisika Bumi 2013.

8. Teman teman satu Dosen bimbingan pak Sungkono yaitu Fertilita, Azizah, Fairus, Shona arum, Aer, Qiqi, Shafitri, Devi Nurulfa, Mas Adi, Mas Yayan dan Mbak Rina.
9. Seluruh penghuni Lab Geofisika terima kasih atas fasilitas dan sharing ilmunya.
10. Keluarga besar Supernova Fisika 2013 terima kasih atas segala dukungan selama kuliah.
11. Luqman Aji Fisika 2013 yang sudah membantu dalam menggambar ulang gambar yang diperlukan penulis.
12. Nara Radya Sundafa, terimakasih atas dukungannya, semangatnya, dan sudah menjadi tempat curhat serta tempat berkeluh kesah untuk penulis.

Penulis menyadari atas keterbatasan ilmu pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki, oleh karena itu penulis berharap akan menerima kritik dan saran yang bersifat membangun demi kebaikan penulis Tugas Akhir ini. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan memberikan inspirasi bagi pembaca untuk berkembang lebih lanjut dan baik

Surabaya, 24 Juli 2017

Penulis
Artika Wijayanti

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Metode Self-Potential.....	5
2.2 Pengukuran Metode SP	6
2.2.1 Metode <i>Leap Frog</i>	7
2.2.2 Metode <i>Fixed Base</i>	7
2.3 Sumber Potensial Alam.....	8
2.3.1 Potensial Elektrokinetik	9
2.3.2 Potensial Elektrokimia	9
2.3.3 Potensial Mineralisasi	10
2.3.4 Potensial Termoelektrik	12
2.4 Pemodelan Data Self-Potential.....	13
2.4.1 Pemodelan kedepan	13
2.4.2 Inversi Data SP	14
2.4.3 Posterior Distribusi Model.....	19
BAB III METODOLOGI	21
3.1 Alat dan Bahan.....	21

3.2 Langkah Kerja	22
3.2.1 Studi Pustaka.....	22
3.2.2 Pemodelan Kedepan.....	22
3.2.3 Uji Data	22
3.2.4 Inversi Data Sintetik.....	23
3.2.5 Analisa Hasil dan Kesimpulan	23
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Inversi Data Sintetik	25
4.1.1 Data Bebas Noise.....	26
4.1.2 Data Ditambah Noise.....	29
4.2 Inversi Data Lapangan.....	34
4.2.1 DataArea Surda.....	34
4.2.2 Data Kayangan Api Bojonegoro.....	38
BAB V KESIMPULAN	43
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	45
BIOGRAFI PENULIS.....	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Potensial dari Beberapa Sumber.....	18
Tabel 4.1 Hasil inversi data sintetik tanpa noise	26
Tabel 4.2 Hasil inversi data sintetik ditambah noise 10%	33
Tabel 4.3 Solusi secara umum	34
Tabel 4.4 Hasil inversi data lapangan Surda.....	37
Tabel 4.5 Perbandingan hasil inversi dari beberapa peneliti sebelumnya untuk setiap parameter model yang digunakan	38
Tabel 4.6 Hasil Inversi Data Lapangan Kayangan Api	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Metode Gradien	7
Gambar 2.2 Metode <i>Fixed Base</i>	9
Gambar 2.3 Potensial Mineralisasi.....	10
Gambar 2.4 Model Geometri <i>Inclined Sheet</i>	14
Gambar 2.5 Diagram Alir Algoritma <i>Flower Pollination</i>	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	21
Gambar 4.1 Data Sintetik Hasil Pemodelan Ke depan	26
Gambar 4.2 Hasil Pencocokan Kurva Data Sintetik Bebas Noise	27
Gambar 4.3 Misfit sebagai fungsi iterasi pada inversi model sintetik bebas noise	28
Gambar 4.4 Posterior distribusi model untuk model sintetik bebas noise (Titik merah menunjukkan nilai sebenarnya, cross (x) menunjukkan nilai median dari PDM)	29
Gambar 4.5 Hasil pencocokan kurva data sintetik ditambah noise 10%	30
Gambar 4.6 Misfit sebagai fungsi iterasi pada inversi model sintetik ditambah noise 10%	31
Gambar 4.7 Posterior distribusi model untuk model ditambah noise 10% (Titik merah menunjukkan nilai sebenarnya, cross (x) menunjukkan nilai median dari PDM).....	32
Gambar 4.8 Hasil pencocokan kurva dari data observasi.....	35
Gambar 4.9 Kurva misfit sebagai fungsi iterasi	36
Gambar 4.10 Posterior distribusi model untuk data lapangan Surda	37
Gambar 4.11 Hasil pencocokan kurva SP kayangan api Bojonegoro.....	39
Gambar 4.12 Misfit sebagai fungsi iterasi data lapangan kayangan api Bojonegoro.....	40
Gambar 4.13 Posterior distribusi model untuk data lapangan kayangan api	41

BAB I

PENDAHULUAN

1. 1 Latar Belakang

Salah satu teknik yang sering digunakan untuk menganalisis dan menginterpretasi bawah permukaan adalah metode potensial diri (Self-Potential). Metode SP merupakan potensial alami yang mengukur potensial listrik yang dihasilkan melalui gabungan antara beberapa mekanisme gaya seperti hidrolik, kimia atau termal. Prinsip kerja pada metode *self potential* yaitu dengan memanfaatkan empat elektroda, dimana dua elektroda dihubungkan dengan voltmeter melalui kabel base (elektroda tetap) dan elektroda lainnya dihubungkan dengan voltmeter sebagai elektroda bergerak. Hasil pengukuran beda potensial untuk setiap jarak elektroda *porous pot* adalah variasi nilai potensial di daerah penelitian.

Bentuk sumber anomali dari self potensial terdiri dari dari tubuh anomali ideal (bola, horizontal silinder, dan vertikal silinder) dan *inclined sheet* (model struktur atau retakan). Akan tetapi pada penelitian ini difokuskan pada asumsi bentuk sumber anomali *inclined sheet* (berupa model struktur atau retakan).

Interpretasi data SP, umumnya dapat dilakukan melalui dua cara, yakni: inversi dan analisa sinyal. Analisa data melalui proses inversi dilakukan melalui proses pencocokkan antara data pengukuran dengan data model. Kesesuaian ini dapat dinyatakan dalam suatu fungsi objektif yang harus diminimumkan. Proses pencarian fungsi objektif yang minimum tersebut berasosiasi dengan proses pencarian model optimum.

Analisa data melalui proses inversi telah dikembangkan beberapa metode, misalnya: least-squares (Abdelrahman and Sharafeldin, 1997), *neural networks* (NN) (El-Kaliouby, 2009), *particle swarm optimization* (PSO) (Srivardhan et al., 2016), *differential evolution* (DE) (Li and Yin, 2012), *genetic algorithm* (GA) (Mohamed and Gobashy, 2006), dan lain-lainnya. Solusi

model dari inversi data SP ialah tidak unik (Sundararajan et al., 1998), artinya terdapat ratusan bahkan ribuan model yang dapat digunakan untuk memprediksi parameter model. Oleh karena itu, dalam proses inversi perlu posterior distribution model (PDM). PDM ini dapat diestimasi melalui metode Monte Carlo dan optimasi global. Salah satu algoritma optimasi global ialah *flower pollination algorithm* (FPA) yang diusulkan oleh Yang (2016). Algoritma FPA ini termasuk algoritma yang sederhana dan fleksibilitas (Yang and He, 2016).

Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan inversi anomali SP untuk *inclined sheet* 2D menggunakan FPA untuk mengestimasi PDM. FPA ini diterapkan pada data SP sintetik (dengan dan tanpa *noise*) dan data lapangan.

1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang diatas maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana kemampuan algoritma *flower pollination* (FPA) dalam menyediakan PDM untuk inversi anomali SP untuk *inclined sheet* 2D.
2. Bagaimana estimasi PDM untuk inversi data *self-potential* menggunakan FPA.
3. Bagaimana model bawah permukaan data self-potensial untuk *inclined sheet* dengan menggunakan FPA.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian tugas akhir ini diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Metode estimasi PDM untuk proses inversi data SP menggunakan FPA.
2. Data yang digunakan merupakan data potensial yang terukur dan posisi (x) untuk *inclined sheet*.
3. Software yang digunakan adalah MATLAB R2009a.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kemampuan FPA dalam menyediakan PDM untuk inversi anomali SP untuk *inclined sheet* 2D.
2. Mengetahui estimasi PDM untuk inversi data *self-potential* menggunakan FPA.
3. Mengetahui hasil model bawah permukaan data self-potensial untuk *inclined sheet* dengan menggunakan FPA.

1.5 Sistematika Laporan

Penyusunan Tugas Akhir ini secara sistematis terbagi dalam beberapa bab dengan urutan sebagai berikut: abstrak yang berisi tentang gambaran umum dari penelitian ini. Bab I Pendahuluan, terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan. Bab II Tinjauan Pustaka, dimana bab tersebut membahas teori-teori dasar sebagai landasan pelaksanaan penelitian yang diambil dari berbagai referensi. Bab III Metodologi Penelitian, pada bab ini menjelaskan tentang langkah-langkah penelitian hingga didapatkan data-data yang diperlukan dalam penelitian. Bab IV Hasil dan Pembahasan, berisi tentang inti dari tugas akhir yang merupakan hasil dari inversi anomali *self potensial* untuk *inclined sheet* dengan algoritma FPA dan Bab V Kesimpulan dan Saran dari penelitian yang telah dilakukan, merupakan suatu kesimpulan yang didapatkan dari tugas akhir dan saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode *Self Potential*

Metode potensial diri atau *self-potential* (SP) merupakan salah satu metode geofisika yang dilakukan dengan mengukur tegangan statis di alam (*static natural voltage*) dari permukaan tanah (Sharma, 1997). Karena hal inilah metode SP termasuk metode geofisika yang bersifat pasif. Metode ini ditemukan pertama kali oleh Robert Fox di Cornwall, Inggris pada tahun 1830 dan mulai digunakan sejak tahun 1920 sebagai salah satu metode untuk eksplorasi logam dasar. Khususnya untuk mendeteksi adanya suatu tubuh bijih. Dikatakan sebagai potensial diri karena potensial yang dihasilkan dari dalam bumi dengan berbagai sumber melalui proses fisika dan kimia. Perbedaan antara positif dan negatif ini merupakan faktor penting dalam menginterpretasikan anomali dari potensial diri.

Tabel 2.1 merupakan beberapa nilai anomali SP dan sumber geologi yang menghasilkan anomali tersebut. Sebagai tambahan, geometri dari struktur geologi dapat juga menghasilkan anomali SP.

Potensial alami dapat terjadi akibat adanya perbedaan material, konsentrasi larutan elektrolit, pengaruh temperatur, dan adanya suatu aliran fluida. Potensial alami di dalam bumi terdiri dari 2 komponen yaitu komponen yang selalu konstan dan tidak memiliki arah serta komponen yang selalu berubah-ubah terhadap waktu (El-Araby, 2004). Biasanya komponen yang konstan disebabkan oleh proses elektrokimia yang terjadi di bumi. Sedangkan komponen yang berubah-ubah disebabkan karena adanya perbedaan potensial dari arus bolak balik yang induksikan oleh petir dan perbedaan medan magnet bumi. Faktor utama yang mempengaruhi potensial diri adalah air tanah (Sato and Mooney, 1960). Potensial diproduksi oleh aliran air tanah dengan berperan sebagai elektrolit dan pelarut dari mineral yang berbeda.

Tabel 2.1 Nilai potensial dari beberapa sumber (Reynolds, 2011)

Sumber	Tipe Anomali
Potensial background	
- Reaksi Geokimia dan streaming fluida	Positif atau negatif kurang dari sama dengan 100 mV
- Pergerakan air tanah	Negatif kurang dari sama dengan 300 mV
- Topografi	Negatif lebih dari 2V
Potensial Mineral	
- Sulfida (pyrite, chalcopyhte, pyrhotite, sphalerite, galena)	Negatif mencapai ratusan mV
- Graphite (magnetite dan bahan konduksi elektronik)	
- Coal	
- Mangan	
- Kuarsa	Positif mencapai ratusan mV
- Pagmatit	

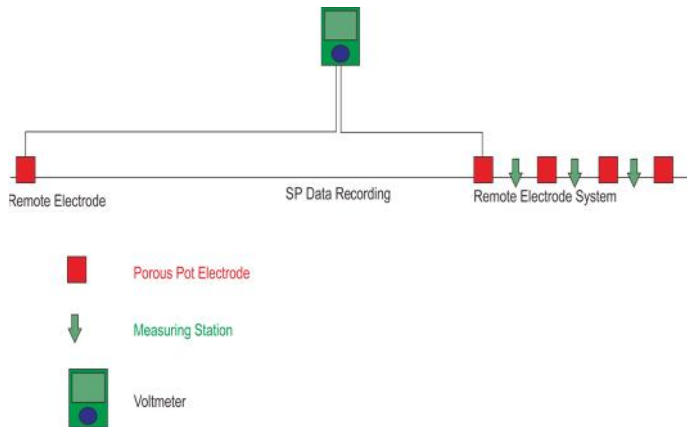
2.2 Pengukuran Metode *Self Potential*

Pengukuran metode SP yaitu menggunakan dua elektroda *porous-pot* dihubungkan dengan multimeter dengan presisi tinggi, input impedansi lebih dari 10^8 ohms dan kemampuan mengukur hingga ketelitian 1 mV. Tiap elektroda dibuat dari plat tembaga yang berada dalam larutan jenuh tembaga sulfat yang dapat berhubungan dengan tanah dan menghasilkan listrik. Terdapat dua teknik pengukuran di lapangan yaitu metode *leap*

frog atau metode *gradien* dan metode *fixed base* yang terlihat pada Gambar 2.1 (Sharma, 1997).

2.2.1 Metode *Leap Frog*

Metode yang pertama yaitu metode *gradien* atau *leap frog*, metode ini menggunakan dua elektroda dengan berpindah-pindah pada jarak yang tetap berkisar 5m atau 10m seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. Titik yang menjadi pengamatan adalah titik tengah diantara kedua elektroda dengan satuan mV/m. Apabila voltmeter menunjukkan nilai negatif maka voltmeter tersebut harus selalu dihubungkan dengan elektroda yang berpindah-pindah sedangkan yang menunjukkan nilai positif harus dengan elektroda yang utama.

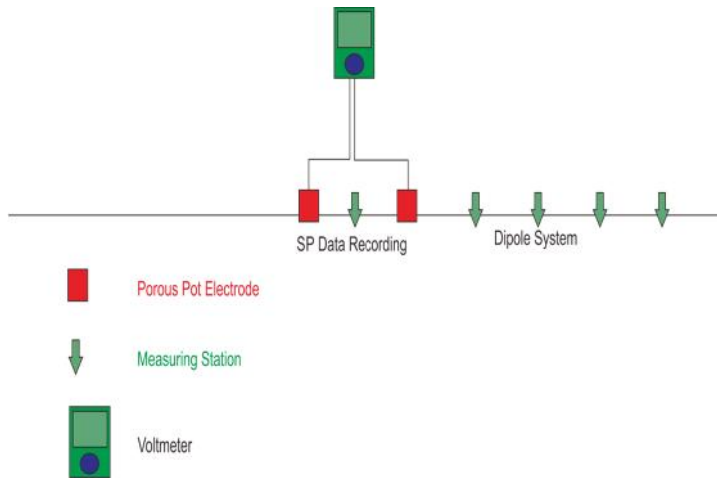


Gambar 2.1 Metode Gradien (digambar ulang oleh Luqman Aji, 2017)

2.2.2 Metode *Fixed Based*

Berbeda dengan metode pertama, metode kedua yaitu metode *fixed base* dengan membiarkan satu elektroda tetap di base pada tanah yang bukan mineral juga disertai dengan

mengukur perbedaan potensial (mV) dengan *porous pot* kedua berpindah-pindah sepanjang garis acuan pada jarak yang tetap sesuai yang terlihat pada Gambar 2.2 diatas. Metode ini menghindari problem polaritas dan akumulatif error. Tetapi yang perlu diperhatikan adalah dengan menjaga suhu larutan elektrolit pada elektroda yang berpindah pindah agar selalu sama dengan suhu pada elektroda di base station. Kelebihan dari metode ini adalah kesalahan yang disebabkan oleh pengambilan data lebih kecil dan mengurangi kemungkinan pemetaan anomali yang mencolok dengan menggunakan panjang gelombang pendek.



Gambar 2.2 Metode Fixed Base (digambar ulang oleh Luqman Aji, 2017)

2.3 Sumber Potensial Alam

Potensial diri (SP) dipermukaan bumi disebabkan oleh aktivitas elektrokimia dan mekanik. Air tanah merupakan faktor pengontrol dari semua kejadian itu. Potensial ini erat kaitannya dengan pelapukan yang terjadi pada tubuh mineral, variasi sifat batuan (kandungan mineral), proses korosi, aktivitas biolistrik

dari bahan organik dan panas dalam cairan. Prinsip mekanisme yang menghasilkan potensial diri ini adalah proses mekanik dan elektrokimia. Terdapat beberapa sumber potensial alam antara lain adalah potensial elektrokinetik, potensial elektrokimia, potensial mineralisasi dan potensial termoelektrik.

2.3.1 Potensial Elektrokinetik

Potensial elektrokinetik atau biasa disebut *elektromechanical potential* yang bernilai kurang dari 10mV terbentuk akibat adanya pergerakan sebuah elektrolit yang mengalir melalui medium yang berpori atau kapiler (Telford et al., 1990). Potensial diukur sepanjang kapiler tersebut. Besarnya resultan beda potensial antara ujung gaya dirumuskan dalam persamaan berikut:

$$V_k = - \frac{\{ \Delta P \cdot v \cdot \dots}{4 f y} \quad (2.1)$$

Dengan ϕ , ϵ , η , ρ masing masing adalah potensial absorpsi (volt), konstanta dielektrik larutan, viskositas larutan, dan resistivitas listrik. Serta ΔP adalah beda tekanan (N/m^2).

Potensial akan cenderung meningkat secara positif dengan arah aliran air sebagai muatan listrik yang mengalir pada arah yang berkebalikan. Dengan konsentrasi muatan negatif sulit mengalir dan dapat menghasilkan anomali SP pada ketinggian topografi.

2.3.2 Potensial Elektrokimia

Potensial elektrokimia timbul karena proses kimia dimana meliputi potensial difusi dan potensial nerst. Saat konsentrasi elektrolit dalam tanah bervariasi, maka perbedaan potensial akan muncul sebagai akibat perbedaan mobilitas anion dan kation dalam larutan yang konsentrasinya berbeda (Telford et al., 1990). Potensial ini yang disebut dengan potensial difusi (*liquid junction*

atau *diffusion potential*). Besarnya potensial difusi ini dirumuskan dalam bentuk persamaan berikut:

$$V_d = -\frac{R}{F n} \frac{(I_a - I_c)}{(I_a + I_c)} \log \frac{C_1}{C_2} \quad (2.2)$$

Dengan R , F , n , masing masing adalah konstanta gas (8,31 Joule/°C), F konstanta Faraday ($9,65 \times 10^4$ Cal/mol) dan n merupakan valensi. Sedangkan I_a , I_c merupakan mobilitas anion dan kation. C_1 dan C_2 konsentrasi larutan (mol/m^3). Serta yaitu temperatur absolut (K).

Potensial Nernst (shale) terjadi ketika perbedaan potensial diantara kedua elektroda yang dicelupkan pada larutan homogen yang mempunyai konsentrasinya berbeda-beda. Besarnya potensial nerst dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V_s = -\frac{R}{F n} \log \frac{C_1}{C_2} \quad (2.3)$$

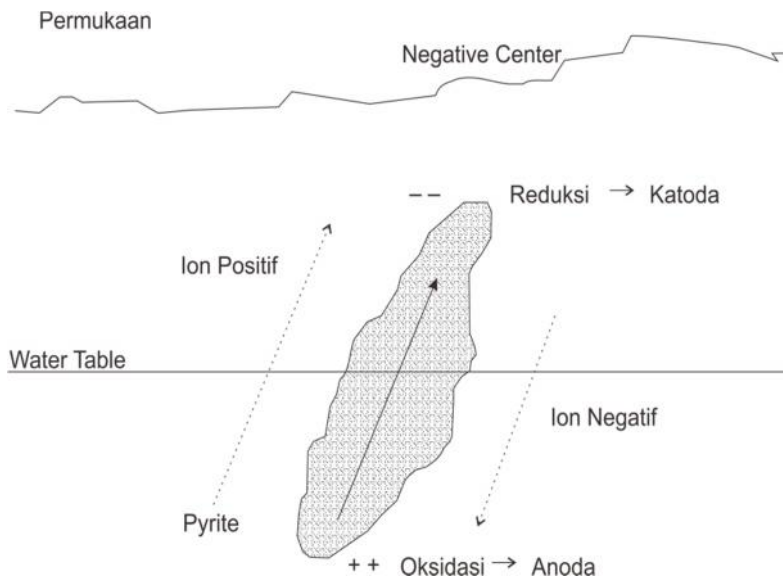
Besarnya potensial elektrokimia merupakan perpaduan antara potensial nernst dan potensial difusi. Persamaan 2.3 menunjukkan bahwa potensial elektrokimia bergantung pada temperatur dan konsentrasi. Nilai potensial akan besar apabila temperatur dan konsentrasinya tinggi, karena hal inilah pengukuran potensial diri sangat penting dalam eksplorasi sumber sumber geothermal yang mana nilai temperatur memang benar memiliki elevasi dan konsentrasi garam di dalam air tanah sangat tinggi.

2.3.3 Potensial Mineralisasi

Apabila 2 macam logam dimasukkan dalam suatu larutan homogen, maka pada logam tersebut akan timbul beda potensial. Beda potensial ini yang disebut dengan potensial kontak elektrolit (Dehbashi and Asl, 2014). Potensial kontak elektrolit dan potensial elektrokimia sering timbul dan dapat diukur

dipermukaan dimana pada daerah yang banyak mengandung mineral. Sehingga dalam hal ini kedua proses timbulnya potensial disebut sebagai potensial mineralisasi.

Proses potensial mineralisasi dapat dilihat pada Gambar 2.3. Berdasarkan gambar tersebut dilihat bahwa pada bagian atas tubuh sulfida terjadi proses reduksi sedangkan proses oksidasi terjadi pada bagian bawah sehingga terbentuklah cell. Dan pada bagian dalam tubuh mineral berfungsi sebagai jalur transport dari anoda ke katoda. Salah satu yang mempengaruhi dalam eksplorasi mineral yaitu potensial mineral itu sendiri. Anomali negatif yang besar dapat diamati pada *pyrite*, *chalcopyte* serta beberapa konduktor listrik yang baik. Meskipun sebagian besar anomali pada mineral potensial mempunyai sifat konduktor yang baik, akan tetapi ada juga yang mempunyai sifat konduktor yang kurang baik seperti pada *sphalerite*.



Gambar 2.3 Potensial Mineralisasi (digambar ulang oleh Luqman Aji, 2017)

Untuk mnghindari kesalahan pengukuran potensial karena adanya potensial polarisasi yang timbul pada permukaan elektroda logam, maka pengukuran SP menggunakan elektroda khusus yang disebut *non polarisable electrode*. Elektroda ini terbuat dari logam yang dicelupkan dalam wadah yang berporos, elektroda ini disebut dengan *porous pot electrode*.

Pada penjelasan Sato dan Mooney (1960), mereka menjelaskan bahwa dua reaksi elektrokimia *half-cell* dari tanda yang berkebalikan, satu katoda diatas *water table*, yang lainnya anoda dibawahnya. Sedangkan pada bagian katoda setengah *cell* terjadi reaksi reduksi kimia yang mendapatkan elektron dan pada sel anoda terjadi reaksi oksidasi yaitu menghilangnya elektron. Zona mineral berfungsi hanya untuk menghubungkan elektron dari anoda dan katoda. Perbedaan potensial oksidasi diantara solusi-solusi pada dua *half-cell* yang menentukan efek potensial diri secara keseluruhan.

2.3.4 Potensial Thermoelektrik

Saat *gradien* temperatur melewati suatu sampel batuan maka akan menghasilkan medan listrik saat melewati batuan tersebut. Fenomena ini disebut dengan efek termoelektrik yang kemungkinan disebabkan oleh adanya perbedaan difusi termal dari ion-ion pada pori fluida serta dari elektron-elektron dan donor ion pada batuan, proses tersebut dinamakan efek *Seebeck*. Rasio tegangan terhadap perbedaan suhu, $\Delta V / \Delta T$ disebut koefisien kopling termoelektrik (Sharma, 1997).

Daerah yang terkonsentrasi pada suhu tinggi pada kedalaman dangkal, seperti cairan termal di zona sesar, dapat menyebabkan anomali dengan panjang gelombang lebih pendek dan amplitudo yang lebih besar. Batas-batas anomali SP yang diukur di beberapa daerah panas bumi tampak berkorelasi dengan zona anomalipanas tinggi yang diketahui. Hal ini kemungkinan anomali ini dihasilkan oleh mekanisme thermoeletrik.

2.4 Pemodelan data *Self-Potential*

2.4.1 Pemodelan Kedepan

Pemodelan kedepan atau biasa disebut *forward modelling* merupakan suatu proses perhitungan data yang secara teoritis yang akan teramati di permukaan bumi (Grandis, 2009). Dengandiketahui parameter model bawah permukaan bumi, melalui tahap pemodelan kedepan ini, data secara teoritik yang akan teramati di permukaan bumi dapat dihitung .

Pemodelan kedepan ini diperlukan untuk menganalisis data geofisika melalui proses inversi ataupun sebagai studi awal dalam desain pengukuran. Untuk proses inversi, saat respon suatu model cocok atau sesuai dengan data pengukuran, model yang digunakan untuk memperoleh respon tersebut dapat dianggap untuk mewakili kondisi bawah permukaan di lokasi pengukuran (Samudra and Warnana, 2017).

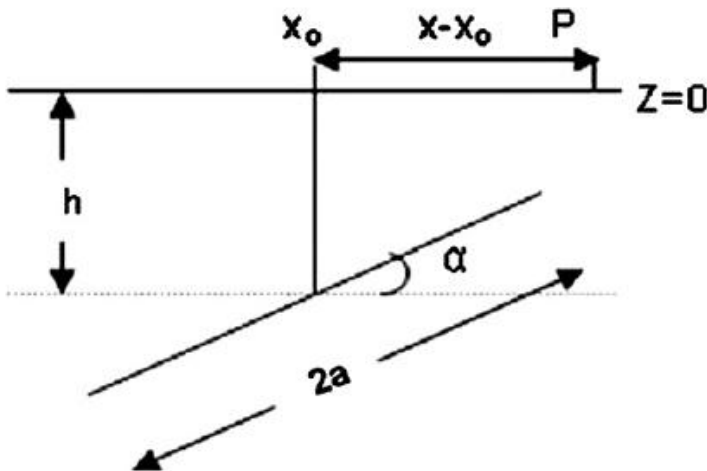
Pemodelan kedepan untuk potensial diri, umumnya terdapat beberapa pendekatan, yakni: pemodelan dengan tubuh anomali ideal (bola, horizontal silinder, dan vertikal silinder), *inclined-sheet* (model struktur atau retakan), dan pemodelan yang lebih komplek tanpa menggunakan asumsi bentuk anomalnya (memakai metode finite difference atau finite element). Namun, karena dalam penelitian ini difokuskan untuk inversi model dengan asumsi anomali berupa struktur, maka pemodelan kedepan yang dibahas hanya mencakup tentang pemodelan kedepan menggunakan struktur.

El-Kalioby dan Al-Garni (2009) menggambarkan anomali *self potential* sesuai Gambar 2.4 dan menjelaskan persamaan umum potensi anomali SP pada setiap titik P di permukaan P(x) dengan sumber anomali *inclined sheet* sebagai berikut:

$$V(x_i) = k \ln \left\{ \frac{\left[(x_i - x_0) - a \cos r \right]^2 + (h - a \sin r)^2}{\left[(x_i - x_0) + a \cos r \right]^2 + (h + a \sin r)^2} \right\} \quad (2.4)$$

dengan parameter polarisasi k adalah momen dipol arus listrik di permukaan $\left(k = \frac{I \dots}{2f}\right)$, h adalah kedalaman bagian tengah *sheet*,

merupakan kemiringan, a adalah setengah panjang dari struktur, adalah resistivitas medium. Sedangkan x_0 dan I masing-masing adalah jarak nol dari posisi awal dan rapat arus dari medium. Parameter tersebut pada saat perhitungan respon pemodelan ke depan diubah-ubah kemudian dioptimasi dengan metode inversi sehingga didapatkan model yang cocok dengan data obeservasi.



Gambar 2.4 Model geometri *Inclined sheet* (El-Kaliouby, 2009)

2.4.2 Inversi Data Self-Potential

Teori inversi didefinisikan sebagai suatu kesatuan teknik atau metode matematika dan statistika yang bertujuan untuk memperoleh informasi parameter model yang berguna dalam suatu sistem fisika (Grandis, 2009). Dalam proses inversi, harus terdapat beberapa proses modifikasi model agar diperoleh kesesuaian yang optimal antara data perhitungan dan

pengamatan. Pemodelan tersebut dinamai dengan data *fitting* karena dalam prosesnya yang dicari adalah parameter model yang menghasilkan respons yang sesuai dengan data pengamatan (Sudiar and Akmam, 2016). Kesesuaian antara respon model dengan data pengamatan secara umum dapat dinyatakan dalam suatu fungsi objektif yang harus diminimumkan. Proses pencarian fungsi objektif yang minimum tersebut berasosiasi dengan proses pencarian model optimum (Reynolds, 1998).

Inversi pada penelitian ini menggunakan algoritma *flower pollination*. Algoritma *Flower Pollination* (FPA) merupakan salah satu algoritma optimasi yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan (Yang, 2012). Algoritma ini meniru tingkah laku serangga dalam melakukan penyerbukan yang ada di alam semesta. Yang mana proses penyerbukan bunga merupakan proses serbuk sari yang biasanya dibantu oleh serangga atau hewan lainnya. Terdapat beberapa bunga dan serangga tertentu yang membuat suatu hubungan yang disebut dengan *flower-pollinator partnership*. Penyerbukan disini dapat dibedakan menjadi 2 tipe yaitu penyerbukan abiotik dan penyerbukan biotik. Sekitar 90% dari tanaman berbunga menggunakan penyerbukan biotik, yaitu penyerbukan yang dibantu oleh serangga. Sedangkan sisanya menggunakan penyerbukan abiotik yang biasa dibantu oleh angin.

Proses penyerbukan bunga terjadi melalui penyerbukan silang atau penyerbukan sendiri. Dalam penyerbukan silang, serbuk sari akan jatuh ke bunga lain. Dengan bantuan serangga maka penyerbukan silangdan biotik dapat terjadi pada jarak yang jauh. Hal tersebut yang dinamai dengan penyerbukan global. Sedangkan penyerbukan lokal terjadi ketika penyerbukan dengan serbuk sari yang berasal dari bunga yang sama. Direpresentasikan ke dalam Persamaan (2.5) yang digunakan ketika kondisi penyerbukan global yaitu ketika nilai probabilitas lebih besar dari nilai *random*. Dan Persamaan (2.6) digunakan ketika kondisi penyerbukan lokal yaitu ketika nilai probabilitas lebih keil dari nilai *random* (Yang, 2012). Pergerakan serangga akan dianggap

sebagai pergerakan diskrit yang mengikuti distribusi Levy (Yang, 2012). Dalam penyerbukan sendiri, serbuk sari akan jatuh ke bunga yang sama atau yang sejenis tanpa membutuhkan bantuan serangga. Beberapa serangga biasa mengunjungi bunga-bunga tertentu dan meninggalkan bunga-bunga yang lain. Fenomena ini yang disebut *flower constancy*. Karakteristik dari penyerbukan, *flower constancy*, dan kebiasaan serangga dapat dijadikan dasar untuk membuat aturan-aturan berikut ini (Yang, 2012):

1. Penyerbukan silang dan biotik dianggap sebagai penyerbukan global dan serangga bergerak mengikuti distribusi Levy.
2. Penyerbukan sendiri dan biotik dianggap sebagai penyerbukan lokal.
3. *Flower constancy* dapat dianggap sebagai rasio reproduksi yang sebanding dengan kemiripan antara dua bunga.
4. Penyerbukan lokal terjadi dengan probabilitas yang lebih tinggi dari penyerbukan global. Penyerbukan tersebut dikontrol dengan suatu nilai $p \in (0,1)$.

Dalam penyerbukan global, serbuk sari bisa jatuh pada bunga terbaik. Jika dimisalkan bunga terbaik adalah g_* , maka *flower constancy* dan aturan pertama dapat diformulasikan secara matematis dengan persamaan berikut;

$$S_i^{t+1} = S_i^t + x L(g_* - S_i^t) \quad (2.5)$$

Dengan x_i^t adalah serbuk sari i atau solusi x_i pada generasi t , g_* adalah solusi pada generasi t , x adalah faktor skala, dan L adalah ukuran perubahan parameter yang memiliki distribusi Levy. Untuk S berisi parameter h , a , K , x_0 , dan \dots .

Penyerbukan lokal dan *flower constancy* dapat diformulasikan secara matematis dengan persamaan berikut:

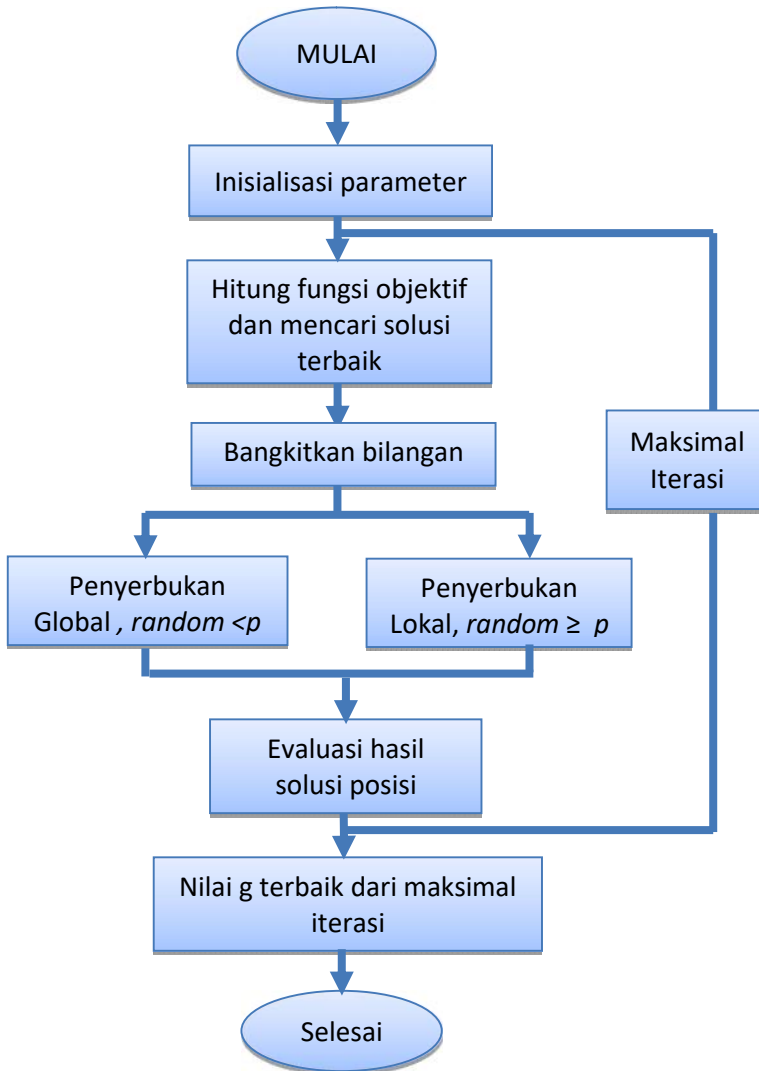
$$S_i^{t+1} = S_i^t + v(S_j^t - S_k^t) \quad (2.6)$$

dengan S_j^t dan S_k^t adalah serbuk sari yang datang dari bunga lain yang masih sejenis. Hal ini mensimulasikan *flower*

constancy pada ketetanggaan kecil. Nilai v diambil dari distribusi uniform pada $(0,1)$ (Nabil, 2016). Pergerakan global dan pergerakan lokal terjadi dengan peluang masing-masing p dan $1-p$. Berikut adalah langkah langkah algoritma *flower pollination* sebagaimana Gambar 2.5:

1. Inisialisasi parameter melalui proses acak dalam ruang model, kemudian hitung nilai fungsi pada posisi tersebut.
2. Menghitung nilai *fitness* dan mencari solusi terbaik g^* pada populasi awal.
3. Ulangi tahap berikut hingga iterasi maksimal:
 - a. Bangkitkan bilangan *random* untuk tiap dimensi individu seluruh populasi.
 - b. Jika $random < p$, lakukan penyerbukan global dan jika $random \geq p$ maka lakukan penyerbukan lokal.
 - c. Evaluasi hasil solusi posisi penyerbukan yang baru dengan sebelum penyerbukan dan dapatkan solusi terbaik untuk tiap individu atau *flower* seluruh populasi, lakukan update g_{terbaik} .
4. Nilai g terbaik yang didapatkan dari iterasi maksimal FPA sebagai solusi terbaik untuk parameter.

Dalam kasus ini parameter parameter yang digunakan antara lain p , x , dan n . Parameter p merupakan pendekatan probabilitas, parameter ini dapat digunakan untuk penyerbukan global ke penyerbukan lokal. Dalam studi parametrik awal menunjukkan bahwa $p = 0.8$ dapat bekerja lebih baik untuk sebagian besar aplikasi (Yang, 2012). Untuk parameter faktor skala (x) dan ukuran populasi (n) yang telah digunakan dalam kebanyakan kasus adalah 0.1 dan $n = 25$ (Yang, 2012). Algoritma *flower pollination* ini memiliki kelebihan antara lain kesederhanaan dan fleksibilitas.



Gambar 2.5 Diagram Alir Algoritma *Flower Pollination*

2.4.3 Posterior Distribusi Model

Terdapat banyak solusi untuk menyelesaikan persoalan inversi. Dalam menyelesaikan masalah inverse maka digunakan Persamaan (2.7), yang mana nilai fungsi tujuan setara dengan data pengukuran. Dalam artian data observasi harus *fit* secara sempurna dengan model.

$$F(m) \approx d \quad (2.7)$$

dengan d adalah data observasi, $m = (m_1, m_2, \dots, m_n)$ adalah model dari interpretasi dan $F(m) = f_1(m), f_2(m), \dots, f_n(m)$ (Tompkins et al., 2013).

Dalam prakteknya masalah inversi memiliki banyak solusi yang menjelaskan secara baik antara observasi dan teori. Solusi inilah yang disebut ekuivalen karena dapat memprediksi data yang diamati dengan beberapa toleransi misfit atau error. Salah satu masalah penting yang paling menonjol dalam geofisika adalah bagaimana memperkirakan secara akurat dan efisien efek ini terhadap solusi inversi. Secara luas didefinisikan sebagai estimasi ketidakpastian. Ada banyak alasan untuk dilakukannya ketidakpastian, termasuk karena adanya kesalahan pengukuran (noise), tidak akurasinya saat proses *forward modelling* karena kesalahan asumsi dll.

Estimasi ketidakpastian dalam masalah inversi melibatkan M_{tol} dari model m yang sesuai dengan data yang diobservasi $d \in R^s$ dalam misfit toleransi (Tompkins et al., 2013). subjek ke:

$$\|F(m) - d\| \leq tol : m \in M_{tol} \quad (2.8)$$

Dari persamaan (2.8) dapat dijelaskan bahwa semua model yang didapat dari hasil inversi dikurangi dengan data observasi, nilainya harus berada dibawah toleransi. Dengan semua model adalah semua elemen dari M_{tol} . M_{tol} merupakan perbandingan semua fungsi dan data observasi harus berada dibawah toleransi.

Posterior distribusi model ini menghasilkan nilai median dan nilai *interquartil*. Dimana nilai median ini nantinya dipilih untuk menjadi solusi terbaik dari hasil inversi, sedangkan nilai

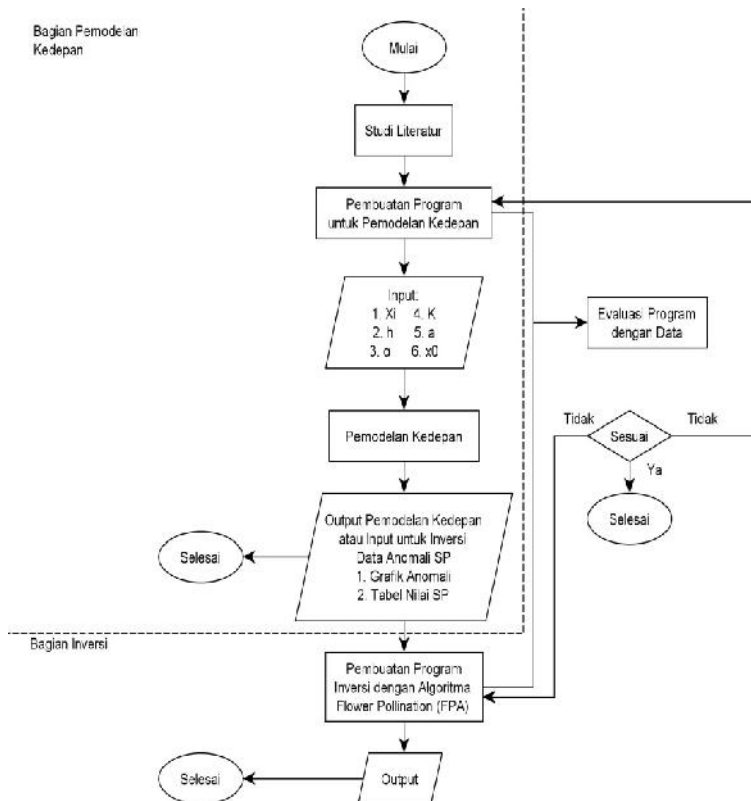
interquartil merepresentasikan suatu nilai ketidakpastian. Sehingga apabila nilai *interquartil*nya kecil maka ketidakpastian dari solusi model juga rendah, begitupun sebaliknya.

BAB III

METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini digunakan peralatan yang menunjang untuk menyelesaikannya antara lain adalah PC yang telah terinstal *software* Matlab R2009a dan data pengukuran *Self Potential*.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Langkah Kerja

Dalam studi ini dilakukan beberapa langkah dalam pengerjaannya. Adapun tahapan-tahapan dapat terbagi menjadi 5 tahapan yaitu studi pustaka, permodelan ke depan (*forward modelling*), uji data, inversi data sintetik, serta tahap terakhir analisa dan kesimpulan. Untuk memperjelas tahapan berikut disajikan diagram alir dalam pengolahan data sesuai Gambar 3.1.

3.2.1 Studi Pustaka

Tahap pertama yang dilakukan sebelum melakukan penelitian ini yaitu mempelajari teori yang berhubungan dengan metode *Self-Potential* (SP), algoritma *Flower Pollination* untuk SP, dan inversi data SP. Kemudian mencari dan mengumpulkan referensi-referensi terkait mengenai penelitian ini, baik itu berupa *softcopy* dan *hardcopy*. Referensi tersebut berupa *ebook*, Tugas Akhir, maupun jurnal (Internasional dan Nasional) mengenai interpretasi data ataupun dalam proses pengolahan data. Selain itu, mempelajari tutorial mengenai penggunaan *software-software* yang berkaitan dengan penelitian dan yang digunakan dalam penelitian ini.

3.2.2 Pemodelan ke depan

Permodelan ke depan (*forward modelling*) menyatakan proses perhitungan data yang secara teoritis akan teramati di permukaan bumi apabila diketahui harga parameter model bawah permukaan tertentu (Grandis, 2009). *Forward modelling* dalam penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data sintetik berdasarkan parameter model sintetik. Hasil keluaran dari pemodelan ke depan ini berupa data anomali SP dan tabel nilai SP.

3.2.3 Uji Data

Uji data dalam penelitian ini dibagi menjadi 2 antara lain uji data sintetik dan uji data lapangan. Uji data sintetik didapatkan dari hasil pemodelan ke depan (tanpa dan

ditambahkan noise). Sedangkan uji data lapangan dilakukan pada data yang sudah dianalisis oleh peneliti sebelumnya dan yang belum dianalisis.

3.2.4 Inversi Data Sintetik

Software disini diujikan untuk bertujuan untuk mengetahui akurat tidaknya *software* tersebut. Pengujian tersebut dilakukan dengan menggunakan data sintetik berdasarkan hasil *forward modelling*. Proses inversi dalam penelitian ini menggunakan algoritma *flower pollination* (FPA). Parameter yang digunakan dalam algoritma ini antara lain $p = 0.8$, $n = 25$, x adalah faktor skala (0.1) dan v . Inversi ini bertujuan untuk mendapatkan kembali data sintetik dari melakukan *forward modelling* sebelumnya.

Dalam proses inversi terdapat suatu fungsi tujuan untuk mencapai model yang terbaik. Pada penelitian ini fungsi objektif (Q) dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$Q = \frac{2 \sum_i^N |V_i^o - V_i^c|}{\sum_i^N |V_i^o - V_i^c| + \sum_i^N |V_i^o + V_i^c|} \quad (2.9)$$

dengan N merupakan angka yang terbaca, V_i^0 dan V_i^0 masing-masing menunjukkan anomali SP yang terukur dan perhitungan pada point $P(x_i)$. Ketidaksesuaian antara respon data dan model dievaluasi melalui kesalahan relatif rata-rata, yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$misfit(\%) = \frac{100}{N} \sqrt{\sum_i^N \left(\frac{V_i^o - V_i^c}{V_i^o} \right)^2} \quad (2.10)$$

3.2.5 Analisa Hasil dan Kesimpulan

Pada tahap analisa dan interpretasi ini dilakukan setelah mendapatkan hasil pemodelan dari proses inversi. Dari hasil

model tersebut dilakukan evaluasi program dengan data dan disesuaikan kembali dengan asumsi awal. Analisa ini dilakukan untuk menjawab dari permasalahan pada penelitian ini. Dari hasil analisa tersebut maka ditarik suatu kesimpulan yang menjawab dari tujuan penelitian.

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, berisi tentang pembahasan mengenai posterior distribusi model yang dihasilkan dari proses inversi data SP dengan menggunakan algoritma *flower pollination*. Algoritma ini telah di tes pada data sintetik dan data lapangan.

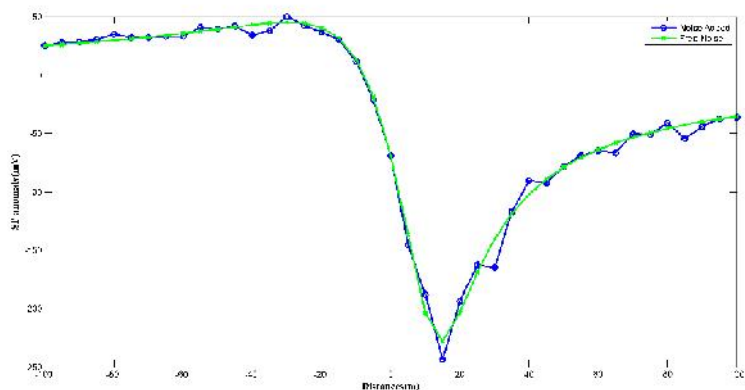
4.1 Inversi Data Sintetik

Pada proses inversi data digunakan *software* Matlab 2009. Tahap awal yang dilakukan adalah mencari data teoritis dengan memasukkan 5 parameter sebenarnya melalui penyelesaian pemodelan kedepan (*forward modelling*). Pada proses inversi diaplikasikan data sintetik untuk sumber anomali struktur atau *inclined sheet* dengan menggunakan Persamaan (2.4). Data sintetik dibagi menjadi 2 bagian, yaitu: data sintetik bebas noise dan data sintetik yang ditambah noise sebesar 10%. Nilai sebenarnya yang dimasukkan dalam pemodelan ke depan adalah kedalaman $h = 15$ m, lebar setengah sheet $a = 10$ m, sudut *inclined sheet* $\Gamma = 40^\circ$, jarak dari posisi awal $D = 5$ m dan amplitudo polarisasi $k = 100$.

Proses inversi merupakan suatu proses untuk mendapatkan solusi model dari data pengukuran. Hal itu dilakukan dengan cara meminimalkan fungsi objektif pada Persamaan 2.9. Baik tidaknya hasil inversi pada umumnya dapat dilihat dari nilai misfitnya. Apabila misfitnya kecil kemungkinan solusi yang dihasilkan baik, begitupun sebaliknya. Akan tetapi dalam proses inversi, nilai misfit yang kecil belum tentu menghasilkan solusi terbaik. Hal itu dikarenakan solusi inversi pada dasarnya tidak unik, artinya terdapat ribuan parameter model yang dapat digunakan untuk memprediksi data tersebut. Dengan demikian proses inversi ini membutuhkan ketidakpastian parameter model yang dapat dihasilkan dari Posterior Distribusi Model (PDM). PDM ini diestimasi dari FPA.

4.1.1 Data Bebas Noise

Proses pemodelan ke depan dilakukan untuk mendapatkan nilai anomali data SP (bebas noise dan yang ditambah noise 10%). dan posisi (x). Model sintetik tersebut sesuai Gambar 4.1. Garis silang dengan warna hijau merupakan data sintetik bebas noise, sedangkan data sintetik ditambah noise ditandai dengan garis lingkaran warna biru. Data sintetik ini dihasilkan dari parameter yang sebenarnya (Tabel 4.1)



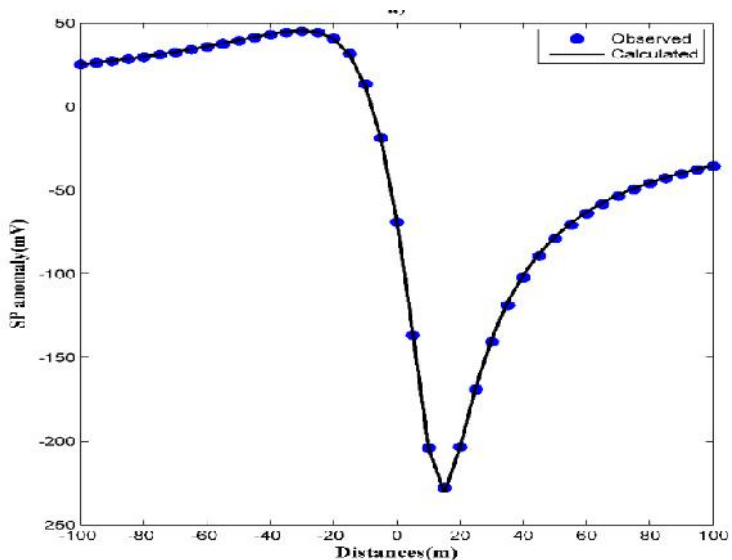
Gambar 4.1 Data sintetik hasil pemodelan ke depan

Tabel 4.1 Hasil inversi data sintetik tanpa noise

Parameter Model	TRUE	Range Parameter	Hasil Inversi	
			Median	Interquartil
K (mV)	100	10 – 200	110,557	32,528
D (m)	5	(-100) – 100	5,270	1,608
h (m)	15	5 – 40	15.524	1,009
α	40	10 – 100	40,841	3,026
a (m)	10	2 – 30	9,346	3,185

Selanjutnya, proses inversi data sintetik tanpa noise dilakukan dengan menggunakan range parameter sebagaimana Tabel 4.1. Proses ini menggunakan nilai $\lambda = 0.1$ dan crossover 0.8.

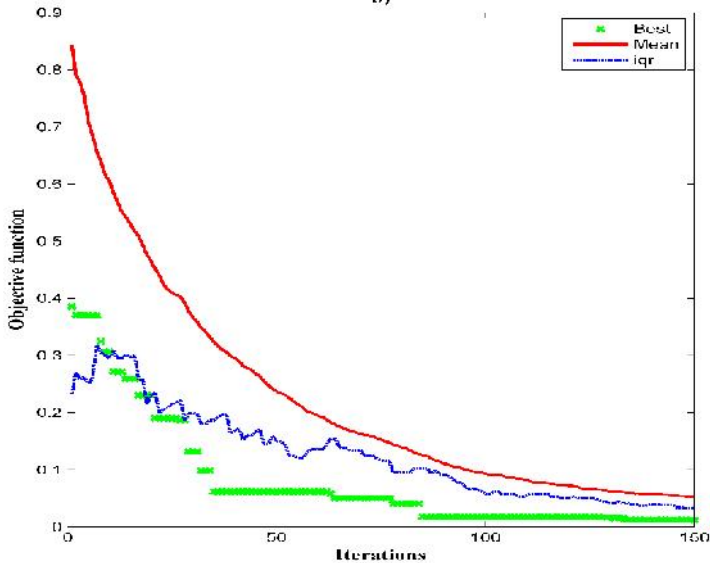
Hasil dari proses ini yaitu pencocokan kurva data observasi dengan hasil perhitungan sebagaimana pada Gambar 4.2 dan misfit sebagai fungsi iterasi sebagaimana pada Gambar 4.3. Gambar 4.2 menunjukkan bahwa perhitungan (garis hitam) berhimpit dengan data observasi (lingkaran biru). Kurva hasil inversi yang tumpang tindih menunjukkan bahwa algoritma FPA ini mampu mencapai optimim global.



Gambar 4.2 Hasil pencocokan kurva data sintetik bebas noise

Untuk estimasi ketidakpastian dari setiap parameter model menggunakan nilai PDM. Akan tetapi, ketidakpastian dapat juga diestimasi melalui interkuartil dari PDM. Range interkuartil merupakan ukuran dari persebaran statistik dan menyatakan perbedaan antara kuartil pertama (25%) dan ketiga (75%). Hasil inversi selain mendapatkan nilai ketidakpastian juga didapatkan solusi berupa nilai median. Nilai median dalam penelitian ini digunakan untuk penebakan parameter model. Hasil penebakan

parameter model inversi tersebut yang dinamakan posterior distribusi model.

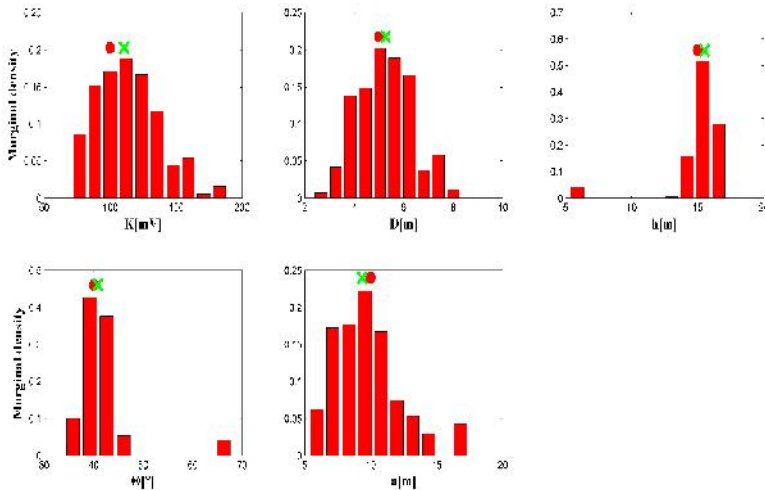


Gambar 4.3 Misfit sebagai fungsi iterasi pada inversi model sintetik bebas noise

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa error fungsi objektif stabil disekitar 0,07 dan akan lurus apabila sudah konvergen.. Maka ini dijadikan sebagai *objective cutt off*. Sehingga solusi model yang errornya dibawah 0,07 dimasukkan dalam posterior distribusi model. Nilai yang terkonsentrasi pada satu daerah terlihat pada kedalaman (h) dan sudut *inclined sheet* nya () sebagaimana Gambar 4.4. Untuk nilai amplitudo polarisasi (K) dan a (m) melebar ke kanan, sedangkan D (m) melebar ke kanan dan ke kiri.

Hasil posterior distribusi model ini juga berfungsi untuk mengetahui seberapa dekat nilai sebenarnya dan hasil inversi. Selain itu, untuk mengestimasi nilai ketidakpastian model yang didapat dari lebar nilai interkuartilnya. Titik merah pada histogram

tersebut merupakan nilai yang sebenarnya yang berkorelasi dengan modus (nilai yang paling banyak muncul). Sedangkan tanda silang (x) merupakan nilai median dari posterior distribusi model. Nilai median dari PDM dan nilai yang sebenarnya berdekatan dan berhimpit (Gambar 4.4). Artinya, FPA ini akurat untuk dipakai dalam mengestimasi PDM untuk menghasilkan solusi model terbaik data SP. Keakuratan ini dapat dilihat sebagaimana pada Tabel 4.1 yang mana nilai median dan nilai sebenarnya nampak dekat.

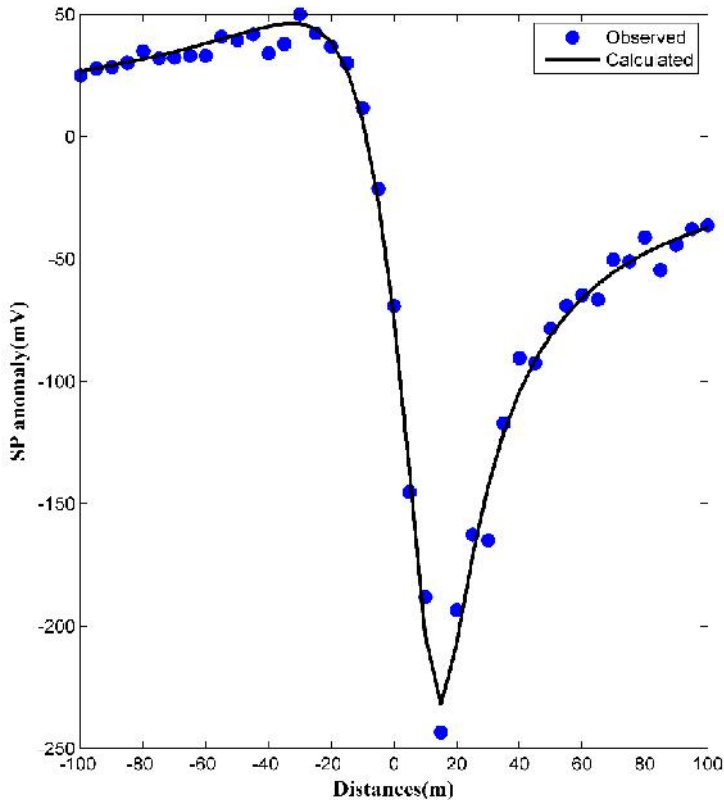


Gambar 4.4 Posterior distribusi model untuk model sintetik bebas noise (Titik merah menunjukkan nilai sebenarnya, cross (x) menunjukkan nilai median dari PDM)

4.1.2 Data Ditambah Noise

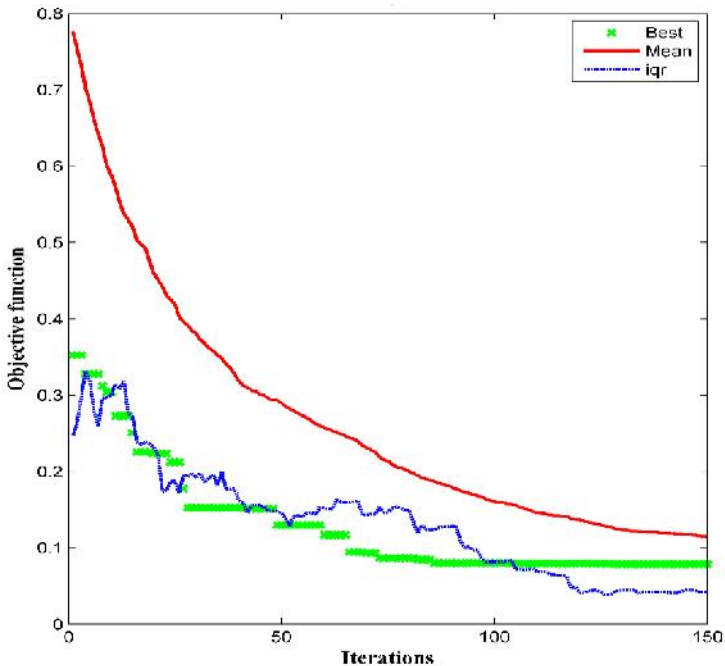
Setelah digunakan inversi data SP bebas noise, FPA dipakai untuk proses inversi data SP yang ditambahi noise. Hal ini dilakukan untuk mengetahui performa FPA pada proses inversi data SP. Inversi data SP terkontaminasi noise dengan FPA

dilakukan dengan menggunakan parameter yang sama dengan inversi data SP bebas noise.



Gambar 4.5 Hasil pencocokan kurva data sintetik ditambah noise 10%

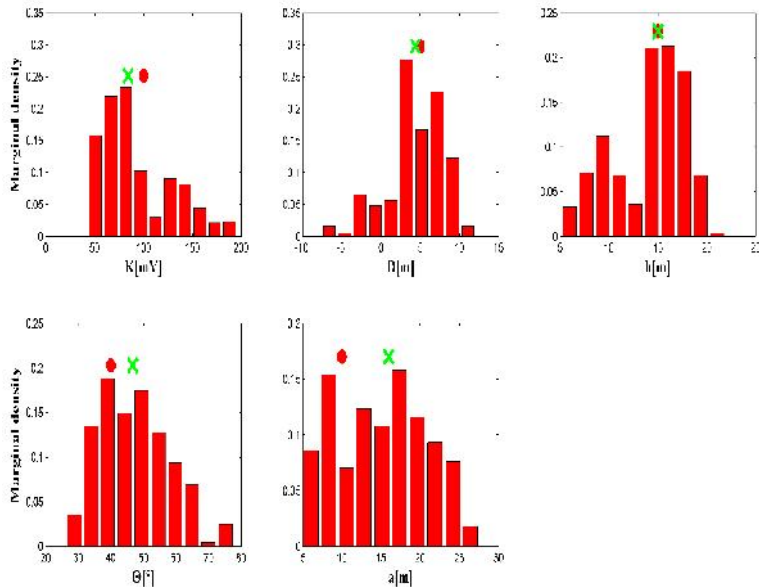
Gambar 4.5 merupakan hasil pencocokan kurva antara observasi dengan perhitungan. Dari kurva tersebut menunjukkan bahwa hasilnya terdapat beberapa yang tidak cocok. Hal ini dikarenakan adanya pada anomali SP. Ketidaccocokan antara observasi dan perhitungan tersebut dapat dilihat dari grafik error sebagaimana Gambar 4.6



Gambar 4.6 Misfit sebagai fungsi iterasi pada inversi model sintetik ditambah noise 10%

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa nilai *objective function*nya bertambah jika dibandingkan dengan Gambar 4.3. Artinya, terdapat perubahan nilai *objective function* akibat ditambahkan noise. Sehingga noise ini akan merubah juga solusi model terbaiknya. Kalau memakai model dengan nilai *objective function* terbaik untuk dijadikan solusi terbaik, maka hal itu akan salah dan menghasilkan solusi yang tidak akurat. Oleh karena itu digunakan PDM untuk menghasilkan solusi terbaiknya. Posterior distribusi model dalam proses ini diestimasi dari seluruh model yang memiliki *objective function* dibawah 0,19 sebagaimana yang telah diuraikan pada sub-bab 4.1.1.

Gambar 4.7 menunjukkan hasil PDM untuk model ditambah noise 10% . Terlihat bahwa nilai sebenarnya (lingkaran merah) dan nilai median (cross hijau) terdapat sedikit jarak dari beberapa parameter model.



Gambar 4.7 Posterior distribusi model untuk model ditambah noise 10% (Titik merah menunjukkan nilai sebenarnya, cross (x) menunjukkan nilai median dari PDM)

Tabel 4.2 merupakan hasil inversi data sintetis ditambah noise 10%. Dari hasil interkuartil dari PDM, nilai yang dihasilkan mengalami peningkatan apabila dibandingkan dengan data sintetis bebas noise pada beberapa parameter model. Selain itu, nilai median yang dihasilkan jauh berbeda dari nilai sebenarnya, jika dibandingkan dengan median dari inversi data tanpa noise.

Tabel 4.2 Hasil inversi data sintetik ditambah noise 10%

Parameter Model	TRUE	Range Parameter	Hasil Inversi	
			Median	Interkuartil
K (mV)	100	10 – 200	84,459	57,355
D (m)	5	(-100) – 100	4,372	4,524
h (m)	15	5 – 40	14,997	6,417
	40	10 – 100	46,679	15,484
a (m)	10	2 – 30	15,952	9,097

Nilai interkuartil berfungsi untuk mengukur tingkat ketidakpastian dari hasil inversi. Secara umum pada proses inversi, untuk mendapatkan solusi biasanya diperoleh dari nilai median \pm interkuartil (sesuai Tabel 4.3). Akan tetapi untuk mengeluarkan 1 solusi yang terbaik maka dipilihlah nilai median untuk menjadi 1 nilai solusi yang terbaik.

Gambar 4.3 dan Gambar 4.6 secara berurutan menunjukkan bahwa nilai *objective function* untuk data bebas noise dan ditambah noise. Kurva konstan mulai dari iterasi 50 sedangkan untuk data ditambah noise kurva konstan ketika iterasi mulai ke 70. Hal tersebut kemungkinan FPA masih mencari model yang terbaik hingga iterasi ke 50. Dan menyebabkan algoritma ini kemungkinan tidak terjebak pada minimum lokal. Hal itu dibuktikan dari nilai interkuartilnya selalu berubah-ubah. Artinya dalam setiap iterasi nilai iqr nya naik turun. Bahkan sampai nilai *objective function*nya bernilai nol, nilai iqr tetap saja tidak stabil.

Tabel 4.3 menunjukkan solusi secara umum dari data bebas noise dan ditambah noise. Dapat dilihat bahwa nilai median yang dihasilkan dari data bebas noise, selisihnya dari nilai yang sebenarnya lebih kecil dibandingkan dari data ditambah noise. Untuk parameter model K, selisih nilai median bebas noise sebesar 10,5 sedangkan ditambah noise sebesar 15,5. Parameter D selisihnya masing masing 0,27 dan 0,6. Kedalaman (h) selisihnya yaitu 0,5 dan 0,002. Sudut *inclined sheet* (α) selisihnya sebesar 0,8 dan 6,67. Untuk parameter a selisihnya yaitu 0,6 dan 5,9 dari nilai sebenarnya. Sehingga dengan ditambahkan noise, nilai mediannya

semakin menjauhi dari nilai yang sebenarnya. Hal itu juga mempengaruhi nilai misfit antara keduanya. Nilai misfit bebas noise lebih kecil dibandingkan dengan ditambah noise. Sehingga menyebabkan lebar interkuartil data ditambah noise semakin besar. Sehingga ketidakpastian hasil inversi juga semakin besar.

Tabel 4.3 Solusi secara umum

Parameter	TRU	Median \pm Interkuartil	
		Tanpa Noise	10% Noise
Model	E		
K (mV)	100	$110,557 \pm 32,528$	$84,459 \pm 57,355$
D (m)	5	$5,270 \pm 1,608$	$4,372 \pm 4,524$
h (m)	15	$15,524 \pm 1,009$	$14,997 \pm 6,417$
	40	$40,841 \pm 3,026$	$46,679 \pm 15,484$
a (m)	10	$9,346 \pm 3,185$	$15,952 \pm 9,097$
MISFIT		0,353	1,955

4.3 Inversi Data Lapangan

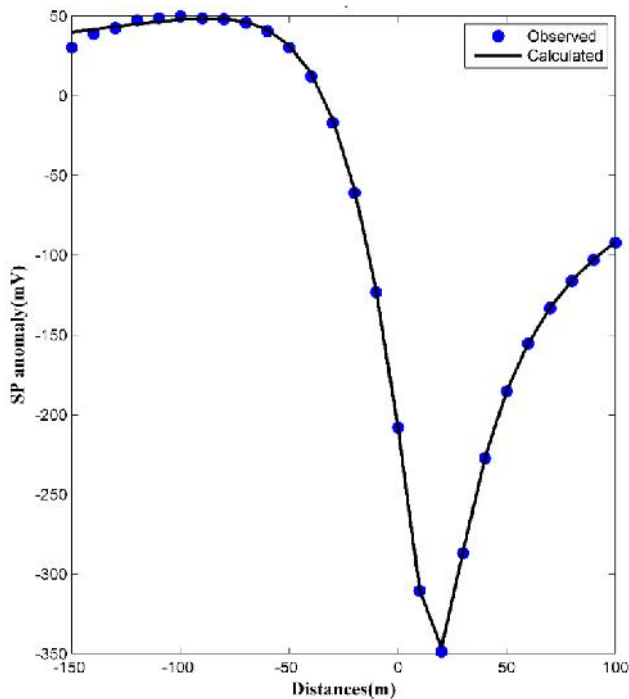
Setelah dilakukan uji kelayakan algoritma *flower pollination* (FPA) pada inversi data sintetik, maka algoritma ini diterapkan pada data lapangan. Data lapangan yang digunakan yaitu data lapangan yang sudah dianalisis oleh peneliti sebelumnya dan data lapangan yang belum dianalisis. Data yang sudah dianalisa yaitu dari lapangan Surda, sedangkan untuk data lapangan yang belum dianalisis menggunakan data lapangan khayangan api Bojonegoro.

4.3.1 Data Area Surda

Untuk tahapan awal yaitu dengan menentukan ruang model. Ruang model yang dipakai untuk inversi data area Surda yaitu dalam rentang parameter sebagai berikut:

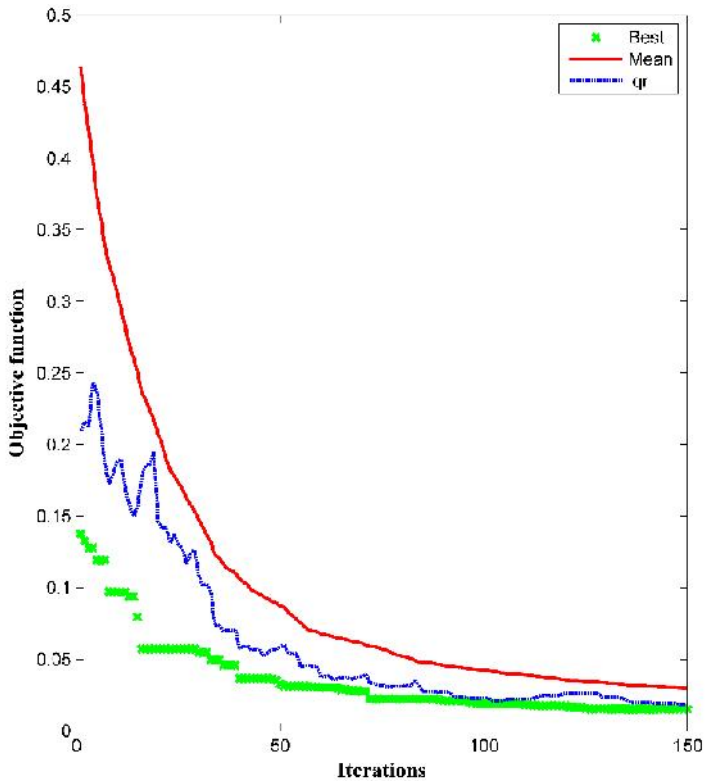
- Amplitudo polarisasi K rentang (90-180 mV)
- D atau x_0 rentang (-20 – 40 m)
- Rentang kedalaman h (10-40 m)
- Setengah lebar a rentang (10 -30 m)
- Rentang sudut inklinasi (20^0 - 50^0)

Data lapangan yang digunakan adalah data yang sudah dianalisis pada area Surda. Dengan jumlah data sebanyak 26 point dan jarak intervalnya 10m. Gambar 4.8 merupakan hasil pencocokan kurva antara observasi dengan perhitungan. Kurva tersebut menunjukkan bahwa data observasi dan perhitungan berhimpit. Kecocokan antara data observasi dan perhitungan dapat dilihat dari nilai misfit yang kecil yaitu sebesar 1,5246.



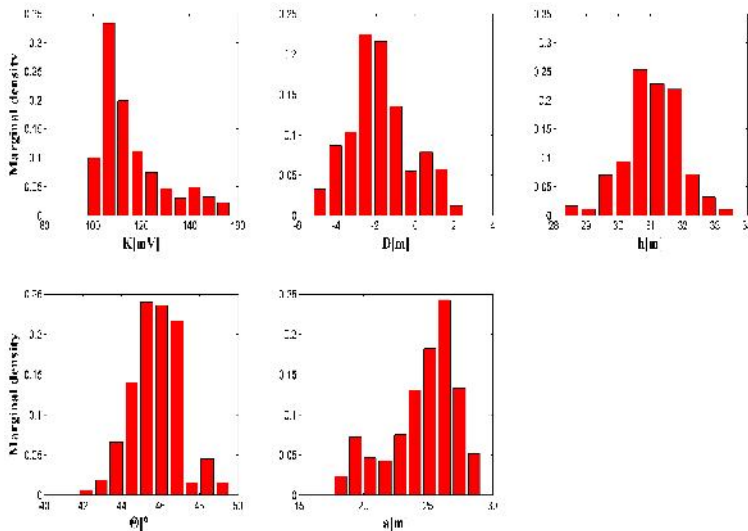
Gambar 4.8 Hasil pencocokan kurva dari data observasi

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa error stabil saat fungsi objektif bernilai 0,05. Sehingga semua model di bawah nilai 0,05 digunakan pada PDM sebagaimana yang telah diuraikan pada sub bab 4.1.1.



Gambar 4.9 Kurva misfit sebagai fungsi iterasi

Hasil histogram PDM data lapangan Surda sesuai Gambar 4.10. Dari posterior distribusi model tersebut dihasilkan nilai median dan interquartil sebagaimana pada Tabel 4.7.



Gambar 4.10 Posterior distribusi model untuk data lapangan Surda

Tabel 4.4 Hasil inversi data lapangan Surda

Parameter	Range	Hasil Inversi	
Model	Parameter	Median	Interkuartil
K (mV)	10 – 200	111,21	15,04
D (m)	(-100) – 100	-2,039	1,842
h (m)	5 – 40	31,06	0,971
	10 – 100	45,77	1,551
a (m)	2 – 30	25,35	3,335

Tabel 4.5 menunjukkan hasil inversi data SP untuk *inclined sheet* dari beberapa peneliti sebelumnya. Kemudian hasil inversinya dibandingkan dengan hasil inversi FPA. Paul (1965), Rao et al (1970) dan Sundararajan et al (1998) menghasilkan parameter model hanya parameter kedalaman, sudut inclinasi dan lebar setengah. Sedangkan Jagannadha Rao et al (1993) dan Murty Haricharan (1985) menghasilkan semua parameter kecuali amplitudo polarisasi (K). Untuk hasil inversi

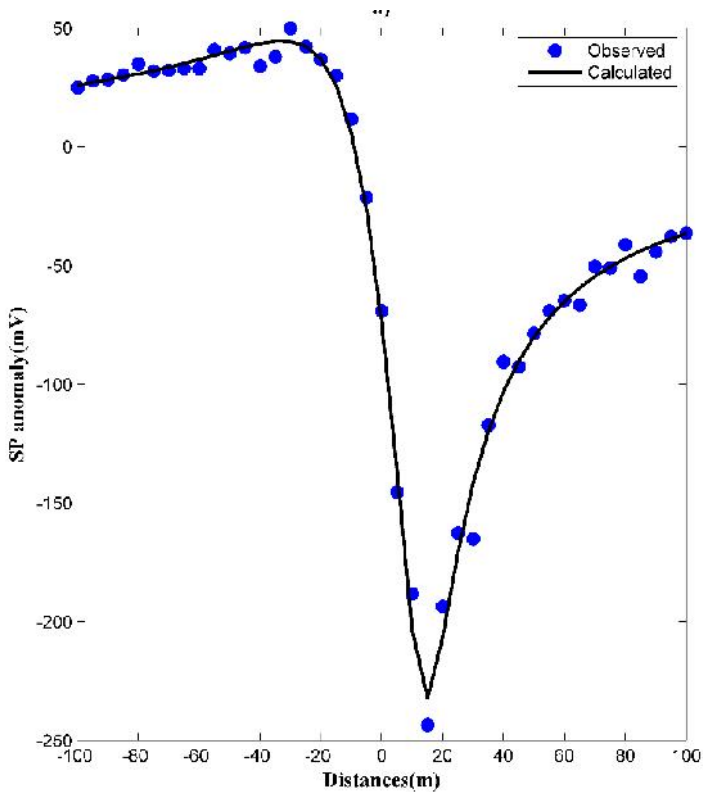
FPA apabila dibandingkan dengan inversi PSO nilainya juga tidak jauh berbeda. Selisihnya hasilnya rata-rata hanya 5,84 sekian.

Tabel 4.5 Perbandingan hasil inversi dari beberapa peneliti sebelumnya untuk setiap parameter model yang digunakan.

Parameter	K (mV)	x_0 (m)	h (m)	($^\circ$)	a (m)
Paul (1965)	-	-	21	20,01	40,20
Rao et al (1970)	-	-	30,48	10,01	34,87
Jagannada Rao et al (1993)	-	15,00	29,88	45	29,40
Sundararajan et al (1998)	-	-	27,65	13,20	32,35
Murthy et al (2005)	-	15,84	26,52	57,63	19,81
Inversi PSO	130,86	5,86	31,40	50,96	19,51
Inversi FPA	111,21	-2,039	31,06	45,77	25,35
Iqr dari FPA	15,04	1,842	0,971	1,551	3,335

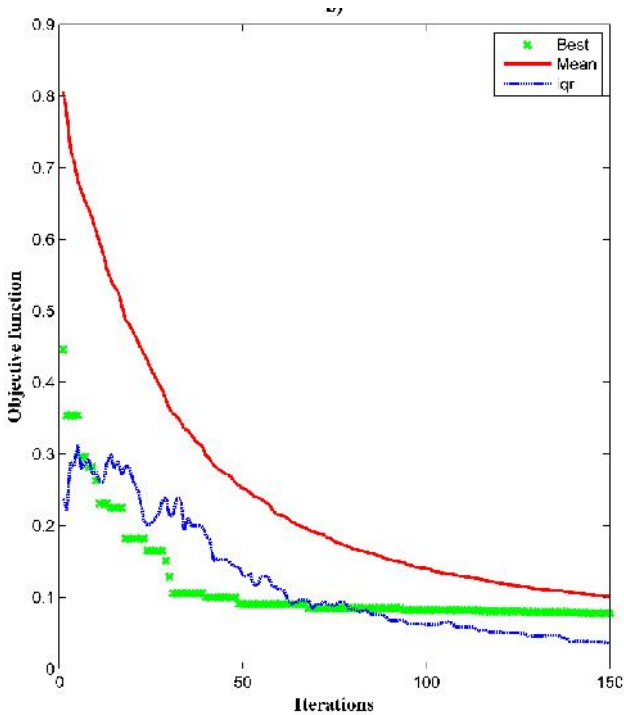
4.3.1 Data Khayangan Api Bojonegoro

Untuk data lapangan yang belum dianalisis digunakan data lapangan khayangan api Bojonegoro. Data yang digunakan yaitu 144 point dengan interval 3 m. Setelah itu, dilakukan proses yang sama seperti inversi data sintetik. Sehingga didapatkan kurva pencocokan antara data observasi dan perhitungan sebagaimana pada Gambar 4.11. Gambar 4.11 menunjukkan bahwa kurva data observasi dan perhitungan berhimpit.



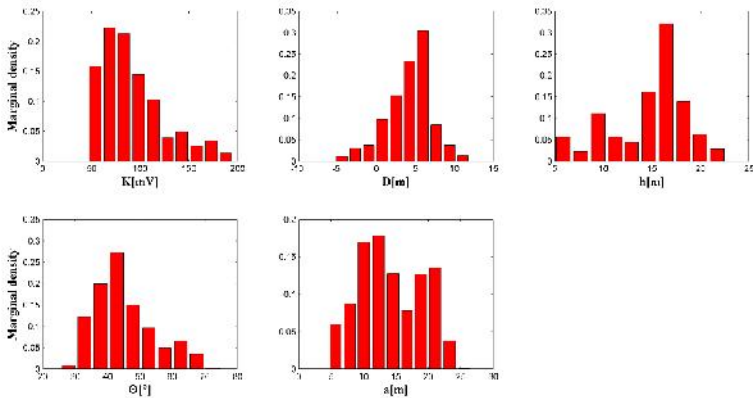
Gambar 4.11 Hasil pencocokan kurva SP kayangan api Bojonegoro

Sedangkan untuk nilai *objective cut off*nya, nilai errornya stabil dibawah 0,1 sesuai pada Gambar 4.12. Nilai error tersebut konstan mulai dari iterasi sekitar 40 hingga iterasi 150. Sehingga semua model dibawah nilai *objective function* 0,1 dimasukkan dalam posterior distribusi model sebagaimana pada Gambar 4.13. Posterior distribusi model tersebut menghasilkan nilai median dan nilai interquartil dari data anomali kayangan api sebagaimana pada Tabel 4.6.



Gambar 4.12 Misfit sebagai fungsi iterasi data lapangan kayangan api Bojonegoro

Hasil histogram posterior distribusi model ditunjukkan pada Gambar 4.13 untuk semua parameter model. Nilai interkuartil menunjukkan derajat ketidakpastian dari solusi model yang telah dihasilkan. Biasanya solusi didapatkan dari hasil mean \pm interquartile. Namun hal itu masih terlalu banyak solusi sehingga untuk mengeluarkan satu solusi terbaik maka dilihat dari nilai mean yang dihasilkan. Interquartile yang didapat dari proses inversi data kayangan api, menunjukkan nilai yang kecil. Sehingga mengakibatkan ketidakpastian dari solusi juga kecil. Dan itu menandakan bahwa anomali SP berupa *inclined sheet* kemungkinan besar terletak pada nilai median tersebut.



Gambar 4.13 Posterior distribusi model untuk data lapangan kayangan api

Tabel 4.6 Hasil Inversi Data Lapangan Kayangan Api

Parameter	Range	Hasil Inversi	
Model	Parameter	Median	Interquartil
K (mV)	10 – 200	85,81	28,23
D (m)	(-100) – 100	4,783	2,502
h (m)	5 – 40	15,84	1,115
	10 – 100	43,55	4,322
a (m)	2 – 30	13,57	4,853

Nilai amplitudo polarisasi yang paling banyak muncul berkisar 80-90 mV. Untuk nilai mediannya sebesar 85,81 mV. Nilai D yang paling banyak muncul antara 4,5-5 m. Kisaran kedalaman sheet yang paling banyak muncul adalah 15-17 m. Lebar setengah sheet berkisar 11-14 m. Serta sudut kemiringan retakan yaitu $43,55^{\circ}$. Hasil kedalaman dari *inclined sheet* ini hampir sama dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Fairus (2017). Dimana penelitian tersebut untuk identifikasi rekahan sebagai jalan keluarnya gas kayangan api dengan menggunakan data SP. Pengolahan data yang telah dilakukan oleh

Fairus (2017) menggunakan *Continuous Wavelet Transform* (CWT) untuk mengidentifikasi kedalaman rekahan tersebut. Kedalaman yang dihasilkan oleh Fairus (2017) berkisar 15,08 m. Sehingga inversi data lapangan ini sesuai dengan kondisi geologi kayangan api.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data dan pembahasan, dapat diketahui bahwa:

1. FPA mampu menyediakan PDM untuk inversi anomali SP dengan model inclined sheet 2D dengan cepat dan hasil inversi data SP akurat untuk data sintetik.
2. Hasil inversi FPA untuk data lapangan akurat untuk estimasi parameter model dan ketidakpastian serta hasil inversinya mirip dibandingkan dengan hasil inversi menggunakan metode lain dari peneliti sebelumnya .
3. Hasil inversi data lapangan menunjukkan bahwa FPA menghasilkan model yang sesuai dengan kondisi geologi setempat.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisa data dan pembahasan dari tugas akhir ini, untuk penelitian kedepan, penulis menyarankan inversi data self potential dengan sumber anomali ideal (bola, horizontal silinder, dan vertikal silinder) menggunakan algoritma FPA.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelrahman, E., Sharafeldin, S., 1997. A least-squares approach to depth determination from self-potential anomalies caused by horizontal cylinders and spheres. *GEOPHYSICS* 62, 44–48. doi:10.1190/1.1444143
- Dehbashi, M., Asl, M.M., 2014. Determining Parameters of Simple Geometric Shaped Self-potential Anomalies. *Indian J. Sci. Technol.* 7, 79–85. doi:10.17485/ijst/2014/v7i1/46806
- El-Araby, H.M., 2004. A new method for complete quantitative interpretation of self-potential anomalies. *J. Appl. Geophys.* 55, 211–224. doi:10.1016/j.jappgeo.2003.11.002
- El-Kaliouby, H.M., 2009. Inversion of self-potential anomalies caused by 2D inclined sheets using neural networks (PDF Download Available) [WWW Document]. ResearchGate. URLhttps://www.researchgate.net/publication/228571795_Inversion_of_selfpotential_anomalies_caused_by_2D_inclined_sheets_using_neural_networks (accessed 6.2.17).
- Grandis, H., 2009a. Pengantar pemodelan inversi geofisika. Himpun. Ahli Geofis. Indones. HAGI Bdg.
- Grandis, H., 2009b. Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika.
- Mohamed, M., Gobashy, M., 2006. Self-Potential Inversion Using Genetic Algorithm. *J. King Abdulaziz Univ.-Earth Sci.* 17, 83–101. doi:10.4197/Ear.17-1.5
- Monteiro Santos, F.A., 2010. Inversion of self-potential of idealized bodies' anomalies using particle swarm optimization. *Comput. Geosci.* 36, 1185–1190. doi:10.1016/j.cageo.2010.01.011
- Nabil, E., 2016. A Modified Flower Pollination Algorithm for global Optimization 57, 192–203.
- Reynolds, J.M., 2011. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, 2nd edition. ed. Wiley, Chichester.

- Reynolds, J.M., 1998. Introduction to Applied and Environmental Geophysics 493–494.
- Samudra, B.T., Warnana, D.D., 2017. Pemodelan Numerik Data Potensial Diri (Self Potential). *J. Tek. ITS* 6, 149–154.
- Sato, M., Mooney, H., 1960. The Electrochemical Mechanism of Sulfide Self-Potentials 25, 226–249.
- Sharma, 1997. Environmental and Engineering Geophysics.
- Srivardhan, V., Pal, S.K., Vaish, J., Kumar, S., Bharti, A.K., Priyam, P., 2016. Particle swarm optimization inversion of self-potential data for depth estimation of coal fires over East Basuria colliery, Jharia coalfield, India. *Environ. Earth Sci.* 75, 688. doi:10.1007/s12665-015-5222-9
- Sudiar, N.Y., Akmam, A., 2016. PEMODELAN INVERSI DATA GEOLISTRIK 1-D UNTUK MENENTUKAN JENIS DAN KEDALAMAN BATUAN DASAR. *Sainstek J. Sains Dan Teknol.* 5, 6–16.
- Sundararajan, N., Rao, P., Sunitha, V., 1998. An analytical method to interpret self-potential anomalies caused by 2-D inclined sheets. *GEOPHYSICS* 63, 1551–1555. doi:10.1190/1.1444451
- Telford, W., L.P, G., R.E, S., 1990. Applied Geophysics. Camb. Univ. Press.
- Tompkins, M.J., Fernández Martínez, J.L., Fernández Muñiz, Z., 2013. Comparison of sparse-grid geometric and random sampling methods in nonlinear inverse solution uncertainty estimation. *Geophys. Prospect.* 61, 28–41. doi:10.1111/j.1365-2478.2012.01057.x
- Li, X., Yin, M., 2012. Application of Differential Evolution Algorithm on Self-Potential Data. *PLoS ONE* 7. doi:10.1371/journal.pone.0051199
- Yang, X.-S., 2012. Flower Pollination Algorithm for Global Optimization, in: *Unconventional Computation and Natural Computation*. Presented at the International Conference on Unconventional Computing and Natural

Computation, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 240–249.
doi:10.1007/978-3-642-32894-7_27.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis “Artika Wijayanti” merupakan anak ke 3 dari 4 bersaudara. Lahir di Kota Nganjuk pada 20 April 1995 dari pasangan Alm. Doto dan Senik. Pada waktu kecil penulis menempuh pendidikan formal antara lain di TK Pertiwi 1 Kramat, SDN Kramat I, SMP Negeri 2 Nganjuk, dan SMA Negeri 1 Nganjuk. Penulis diterima di jurusan Fisika FMIPA-ITS pada tahun 2013 melalui jalur SNMPTN undangan dan terdaftar

dengan NRP 1113100028.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam berbagai kegiatan dan organisasi mahasiswa. Beberapa organisasi yang sempat ditekuni yaitu sebagai staf Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HIMASIKA ITS (2014-2015), dan staff Departemen Education Student Prosperirt devisi catur HIMASIKA ITS (2015-2016) serta Panitia INTERN 2016.

Semasa kuliah penulis juga aktif mengikuti Program Kreativitas Mahasiswa, workshop dan seminar tingkat nasional dan internasional. Prestasi yang pernah diraih penulis selama kuliah adalah PKM terdananai DIKTI tentang analisa potensi persebaran lindi menggunakan metode geolistrik untuk uji kelayakan pembangunan pemukiman dan taman di daerah eks TPA. Akhir kata apabila ada kritik dan saran, pembaca dapat mengirim pesan ke: artikawijayanti@gmail.com.

“Tidak Ada Jalan Yang Mudah Untuk Menjadi Seorang Hokage”